

工业乏汽的高效利用

郑之初 (中国科学院力学研究所)

提要 在实验研究基础上, 本文提出了回收工业乏汽有效方法. 它已在食品、纺织等工业中得到应用并取得显著的节煤、节水效果.

关键词 射流泵, 节煤, 节水, 乏汽回收

一、引言

蒸汽是工业中最广泛利用的工质, 在工业使用过程中, 高温高压蒸汽损失了一定热量变成低压状态, 通常称它为乏汽. 以前它常常是不加利用白白地排放掉的. 自从全国开展节能工作以来, 随着节能要求不断提高, 一些工厂设想回收乏汽, 用以加热软化, 水重新输入锅炉循环使用, 在全国各地诞生了不少因地制宜的设施.

通过北京、上海、天津等地工业乏汽回收利用的调查情况来看, 现有设施效率低、投资多、结构复杂, 不能满足广泛开展工业乏汽回用的要求. 因此, 设计一种简单而有效的工业乏汽回收利用装置, 是节能节水的一个重要课题. 但是, 在乏汽热能利用中, 乏汽转化为水的过程里, 如若掌握不当会引起巨大的噪音和震动, 严重的情况会造成设备损坏, 因此对汽水两相问题作一些研究, 是很有必要的.

二、基本实验

我们承接了食品行业中利用乏汽加热软化水输回锅炉循环使用的节能节水工程项目. 设想利用射流泵来实现汽水转换的目的. 这里的射流泵必须具有高效无噪音的汽水转换能力. 为此, 对选择水还是汽作为引射介质必须进行研究. 我们用流动观察的实验来进行现象分析, 为了实验和观察方便, 用空气代替蒸气, (除不能模拟汽泡破裂变水的现象外), 在流动显示上是可行的.

用图 1 的装置进行了水引射气体的射流泵出口处流场实验. 当容器中的液面逐渐低于管 a 上壁面时, 空气被吸入管 a, 流经管 c 的溶液

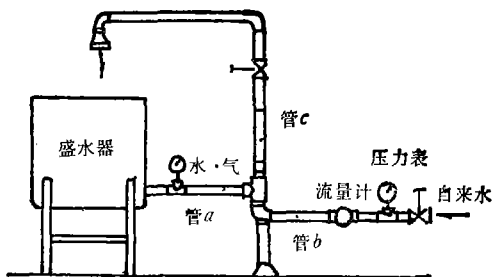


图 1 水气引射流场显示装置示意图

中逐渐产生小气泡, 这表示射流泵在抽吸管 a 中液体的同时也抽吸一定量的空气, 随着管 a 中液面降低, 管 c 中溶液颜色逐渐变淡, 最终呈透明色, 而气泡逐渐增多, 直径也增大, 图 2(a)、2(b)、2(c) 中分别给出了抽吸不同空气量时管 c 中的流态. 分析现象, 我们得到如下概念:

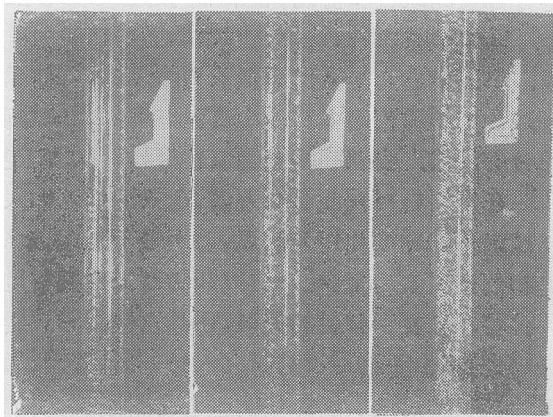


图 2(a) 图 2(b) 图 2(c)

图 2 水引射气体时管中的流态变化

1. 当管 a 内液面低于一定位置时, 射流泵处于水引射空气的状态.

2. 在一定范围内, 随着引射水压力和被引射空气压力的升高, 被引射空气的流量增加.

3. 用水引射空气时, 在被引射空气压力不太高的情况下, 气泡包含在水流中, 这种现象说明: 此时比较容易实现蒸汽溶解于水变成均匀热水的情况.

图 3 说明气体引射水的射流泵试验. 实验时用调压阀调节进气压力, 改变引射气体流量, 在射流泵出口处我们观察到气水射流的各种流态(图 4). 从图 4(a) 中我们发现当

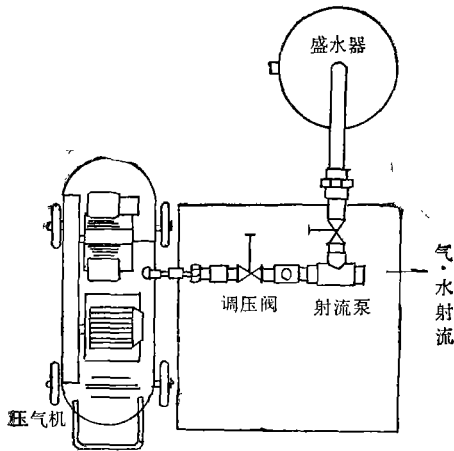
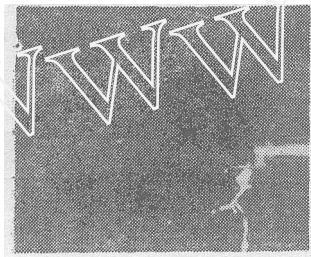
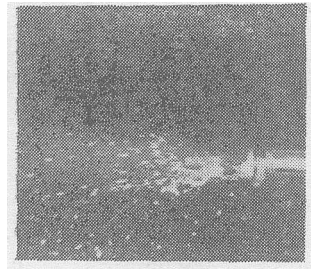


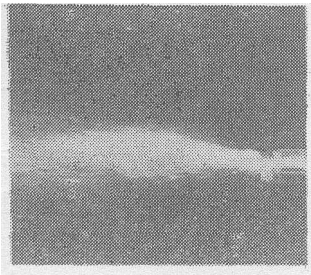
图3 气水引射流场显示装置示意图



(a)



(b)



(c)

图4 气体引射水时射流流态变化

$$P_{进} \leq 0.2 \times 10^5$$

帕(表压)时,气水基本上分层流动,气体在上层,水流由于重力作用在下层。气体中夹带着

直径较大的水珠。图4(b)表示在 0.5×10^5 帕 $> P_{进} > 0.2 \times 10^5$ 帕(表压)范围内,随着进气压力升高,下层的水流层愈来愈不明显,上层气水两相层逐渐扩大,气体中夹带水珠的数密度增加而直径减小。图4(c)指出在 $P_{进} > 0.8 \times 10^5$ 帕(表压)时,在射流泵出口处完全是气水两相流了,气体中均匀分布着细密水珠。

从以上气水引射流动中我们发现:

1. 在引射气体某一压力范围内,随着进气压力增大,引射气体的流量增加,被引射水的流量也增加。

2. 在 $P_{进}$ 较小的情况下,管内是气水分层的流态,它不利于蒸汽在射流泵内完成转变成热水的过程。

3. 在 $P_{进}$ 较高的情况下,呈气水均匀两相流动;由于吸入水流量较小,基本上是水弥散在气体中的流态。在射流泵中把气体视作蒸汽,蒸汽中大量的潜热无法为水全部吸收,相反会引起少量水吸收蒸汽的热量而汽化的情况,加上气体和液体与管壁的摩擦,这就是通常汽水引射产生噪音与振动的原因。

通过上述二个基本实验,我们得到如下结论: 要使乏汽在射流泵内顺畅地转变为热水,应采用水引射蒸汽形式的射流泵。

三、乏汽加热软化水方案

在基本实验的基础上,我们提出了用 TLJ 配比射流泵回收乏汽加热软化水的方案(图5)。TLJ 配比射流泵采用文献[1]中介绍的设计原则,它具有能量损失小、换热效率高、结构紧凑、二种介质均匀混合等优点。图6给出了 TLJ 射流泵的实物照片,考虑到回用乏汽的压力变化,一般在 0.15×10^5 — 1.5×10^5 帕(表压)之间,在乏汽进入泵体处安装节流阀,防止过高压力乏汽吸入产生噪音与振动。混合后的水温按各厂需要情况来选定。若已知软化水的进水温度 t_c 和乏汽的状态,由公式

$$\dot{m}_{乏汽} = \frac{Qc_p(t_{混后} - t_c)}{c_p(t_{乏} - t_{混后}) + r_{乏}} \quad (1)$$

可以称得需要吸入的最大乏汽量,其中 $r_{乏}$ 为乏汽的汽化潜热, $t_{混后}$ 为混合后的水温。图5所

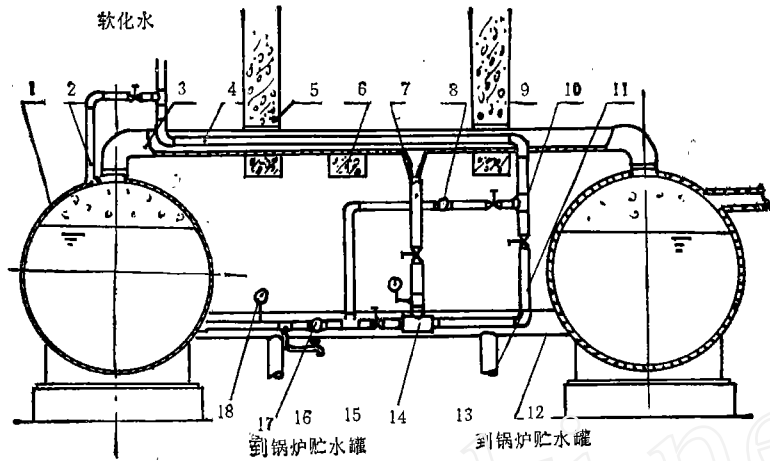


图5 回收乏汽加热软化水方案示意图

- 1.软化水罐 2.通水旁路 3.蒸汽连通管 4.软化水水管 5.隔墙 6.梁 7.乏汽管(进射流泵) 8.流量计(冷水) 9.阀门 10.三通 11.软化水管(进射流泵) 12.连通水管 13.弯头 14.TLJ射流泵 15.压力真空表 16.水龙头 17.流量计(热水) 18.压力表

表1 现场测量数据

次 数	1	2	3	4
日期	1985.8.21	1985.8.21	1985.8.21	1985.8.16
\dot{m} 热水(公斤/小时)	5349	6007	5307	4731
\dot{m} 冷水(公斤/小时)	5123, 4972	5722	4909	4273
\dot{m} 蒸汽(公斤/小时)	301.5	285	398	457.6
\dot{m} 蒸汽(计)(公斤/小时)	286.7	304.1	300	
\dot{m} 冷凝水(公斤/小时)	218.3	495.4	112.9	243.9
\dot{m} 总(公斤/小时)	5567.3	6502.4	5419.9	4974.9
t 冷水($^{\circ}\text{C}$)	16	16	16	17
t 热水(1)($^{\circ}\text{C}$)	49	47.5	52	49
t 热水(2)($^{\circ}\text{C}$)	81.5	86	87	71
t 进锅炉($^{\circ}\text{C}$)	51	51.5	53	51.5
P 冷水进(帕)	0.43×10^5	0.58×10^5	0.43×10^5	0.4×10^5
P 蒸汽(帕)	0.2×10^5	0.15×10^5	0.15×10^5	0.2×10^5
η (锅炉效率)	0.7	0.7	0.7	0.7
Q 节能(大卡/月)	9.743×10^7	11.542×10^7	10.027×10^7	8.582×10^7
W 节煤(国产)(吨/月)	23.2	27.5	23.9	20.4
M 节水(吨/月)	260	390.2	255.5	350.8

(1 吨国产煤热值为 6×10^6 大卡/吨)

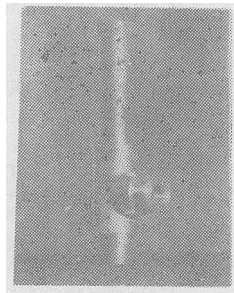


图6

示整个系统包括一定的计量仪器,可以测量乏汽压力,软化水流量和混合水总流量,混合水温度和软化水温度等。由混合水总流量和 $t_{\text{混后}}$ 与 $\dot{m}_{\text{乏汽}}$ 之比,可以得到 TLJ 配比射流泵的热效率,实践证明它的热效率在 98% 以上。

本方案于 1985 年 8 月在北京第一食品厂安装完毕,设备运行正常。表 1 给出了现场测量数据。在以后长期运行过程中工厂进行复

测,鉴定书上公布的数据高于表1数据:平均节水5000吨/年,节煤400吨/年,节盐4.5吨/年,总计折合人民币2.68万元/年。以20天节煤节水费用即可回收投资。

上述方法还可用于其他节能项目,如乏汽取暖系统。用TLJ射流泵吸入乏汽,转变成具有一定混合水温的热水,流经取暖片后重返锅炉房循环使用。可以节省取暖用煤及取暖用

水。在食品、橡胶、造纸、制糖、化工、纺织等工业部门,乏汽放空量是很大的(有时高达每小时几吨),如能结合工厂的工艺条件采用TLJ配比射流泵,将会达到很好的节煤、节水效果。

参 考 文 献

[1] 力学与实践, 1(1985), 46.

(本文于1986年9月16日收到)

* * *

岩石破碎吸收能与应变率之间的相关性研究

于亚伦 (北京钢铁学院)

川北稔, 木下重教 (日本北海道大学)

提要 本文主要研究了岩石在高速冲击载荷作用下,不同围压对岩石破碎吸收能与应变率的相互关系。为了查明二者的全貌,示出了全应变范围内岩石破碎吸收能与应变率的关系曲线。

试验采用三轴高速冲击试验装置(Split Hopkinson Bar)。

关键词 吸收能, 应变率

岩石在承受静载荷作用时,衡量岩石抵抗破坏程度的尺度多用破坏强度和弹性模量。而在承受动载荷作用时,随着应变率和围压的增加,岩石的非线性变形明显增加。因此,在动载条件下,为了衡量破碎岩石的难易程度,采用岩石破碎吸收能比采用岩石抗压强度更为合适。

本文主要研究了岩石在高速冲击载荷作用下,不同围压时岩石破碎吸收能与应变率的相互关系。

试验采用三轴高速冲击试验装置,即 Split Hopkinson Bar (简称 S. H. P. B)。冲击速度40 m/s 常用围压300 kg/cm²。试件尺寸φ30 × 30mm。

1. 岩石吸收能的计算

在 S. H. P. B 装置中,为了测定入力棒和出力棒中传播的应力波,在棒上贴有电阻片,用瞬态波形存储器和微机记录之。设岩石试件

的入射波、反射波和透过波所携带的能量分别为 W_{I0} 、 W_{R0} 和 W_{T0} , 则

$$W_{I0} = \frac{AC}{E} \int_0^T [\sigma_I(t)]^2 dt \quad (1)$$

$$W_{R0} = \frac{AC}{E} \int_0^T [\sigma_R(t)]^2 dt \quad (2)$$

$$W_{T0} = \frac{AC}{E} \int_0^T [\sigma_T(t)]^2 dt \quad (3)$$

式中:

A 、 C 、 E 分别为入射棒和出力棒的断面积、纵波传播速度和弹性模量。

$\sigma_I(t)$ 、 $\sigma_R(t)$ 、 $\sigma_T(t)$ 分别为时刻 t 时的入射波、反射波和透过波的波峰值。

T 为载荷开始至终止的时间。

用试件体积 V 分别去除式(1)、(2)和(3),即可得出试件的每单位体积的入射能 W_I 、反射能 W_R 和透射能 W_T 。在一个载荷周期内,每单位体积试件的吸收能 W_L 为

$$W_L = W_I - (W_R + W_T) \quad (4)$$

2. 试件运动能的计算

在静载实验时,由于加载时间缓慢,在能量转换中并未考虑试件运动能的损耗。那么,在高速冲击载荷试验时,情况又该如何呢?

在试件和弹性棒所构成的系统中,设入射波到达试件与弹性棒界面时作为时间的基点,时刻 t 时,试件的位移速度应为

$$v(t) = \frac{1}{\rho c} [\sigma_I(t) - \sigma_R(t) - \sigma_T(t)] \quad (5)$$

式中:

$\sigma_I(t)$ 、 $\sigma_R(t)$ 、 $\sigma_T(t)$ 分别为时刻 t 时的入射波、反射波和透射波的波幅值;